

PRESENTACIÓN GRÁFICA EN EL GID A PARTIR DE RESULTADOS OBTENIDOS EN MATLAB. APLICACIÓN A PRESA LA ESPERANZA

Jennifer Carrillo⁽¹⁾, Abel Zambrano⁽¹⁾, Roberto Aguiar⁽²⁾ y Javier Mroginski⁽³⁾

⁽¹⁾Escuela de Ingeniería Civil
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)
Manta-Ecuador jennifer_rct@hotmail.com

⁽²⁾Centro de Investigaciones Científicas
Universidad de Fuerzas Armadas (UFA)
Quito- Ecuador raguiar@espe.edu.ec

⁽³⁾Departamento de Mecánica Aplicada
Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)
Resistencia, Chaco-Argentina javierm@ing.unne.edu.ar

RESUMEN

El programa GID es un pre y post procesador que facilita la entrada y salida de resultados, en forma gráfica, de estructuras analizadas con elementos finitos. En este artículo se presenta el uso de este programa como post procesador aplicado al análisis sísmico de la Presa la Esperanza que se halla ubicada en la Provincia de Manabí.

Se indica como se generan los archivos Flavia.msh y Flavia.res. En el primer archivo se genera la malla de elementos finitos y en el segundo todos los resultados que se desean graficar. Este artículo es un complemento al uso del programa GID que fue publicado por los autores en el segundo volumen de la Revista Ciencia de 2010.

ABSTRACT

The program denominated GID is a pre and post processor that makes the input and output of data easier, of structures analyzed graphically with finite elements. This article presents the use of this program as a post processor applying the seismic analysis of La Esperanza Dam, which is located in Manabí Province.

It is indicated how to generate the Flavia.msh and Flavia.res files. The finite element mesh is generated in the first file and all the results are generated in the second file, which are wanted to be plotted. This article is a complement for the use of the program GID that was published by its authors in the second edition of Science Magazine in 2010.

Keywords.- Post processor of GID. Flavia Files. La Esperanza Dam

1. INTRODUCCIÓN

En Aguiar *et al.* (2010) se indicó la forma de usar el Programa GID como pre y post procesador pero se dio más énfasis a la primera opción. Ahora se va a explicar con más detalle la segunda opción considerando que el usuario del GID va a resolver analizar cualquier problema con programas de **CEINCI-LAB** de elementos finitos y quiere presentar los resultados en forma elegante, agradable y comprensiva, que se logra con el Programa GID.

Para cumplir con este propósito se deben generar los archivos para el Post-proceso, archivo flavia.msh y flavia.res a través del MATLAB.

Para un mejor entendimiento se realiza un ejemplo de una presa de hormigón a gravedad, la misma que se muestra en la figura 1 la parte de la izquierda, con color azul corresponde al agua y la parte de la derecha a la Prera cuyas dimensiones se indican en metros en la figura 2.

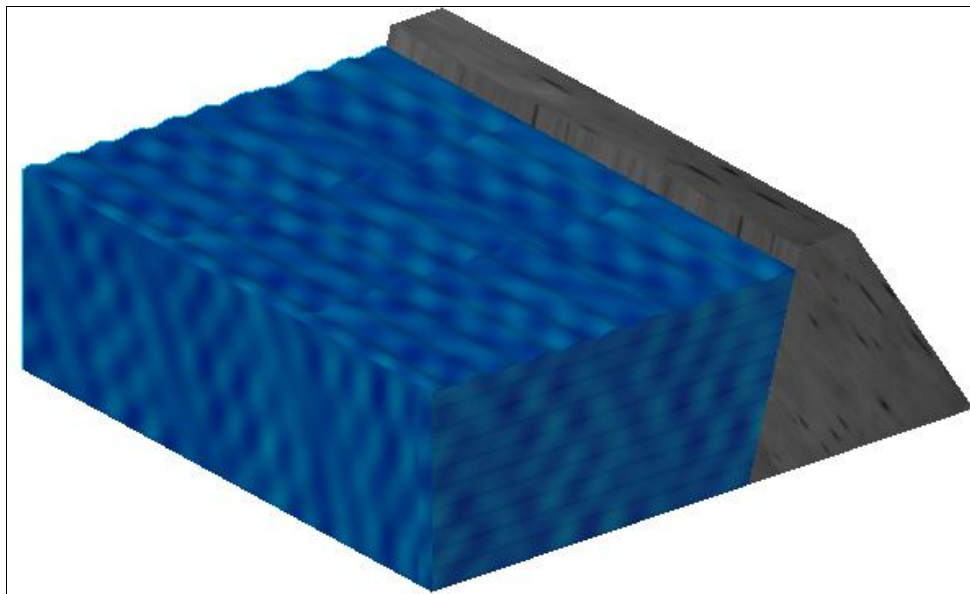


Figura 1 Presa de hormigón a gravedad.

En primer lugar se realiza el análisis sísmico de la Presa empleando el Método de Superposición Modal utilizando un espectro de respuesta inelástico. Aguiar (2008). Luego se encontrará la Presión Hidrodinámica para el coeficiente sísmico que se obtiene del análisis sísmico.

Para el análisis sísmico de la Presa se trabaja con el elemento finito Q4, que considera dos grados de libertad por nodo (desplazamiento horizontal y vertical) pero este elemento finito es suavizado por el efecto de flexión. Oñate (1992). Se consideran dos divisiones en sentido X y dos divisiones en sentido Y, de tal manera que se trabaja con una malla de 4 elementos finitos. Se consideran tan pocos elementos finitos por facilidad de la explicación.

La base de la Presa se encuentra restringida a los grados de libertad (hipótesis de cálculo) por lo que el sistema posee 6 grados de libertad en la dirección X y 6 en la dirección Y, los mismos que se presentan a la derecha de la figura 3. Nótese que primero se han numerado de corrido todos los grados de libertad en sentido horizontal y posteriormente todos los grados de libertad en sentido vertical esto es con el propósito de poder trabajar con la matriz de rigidez condensada en el análisis sísmico. Aguiar (2004, 2007). A la izquierda de la figura 3 se presenta la numeración de los nodos y de los elementos.

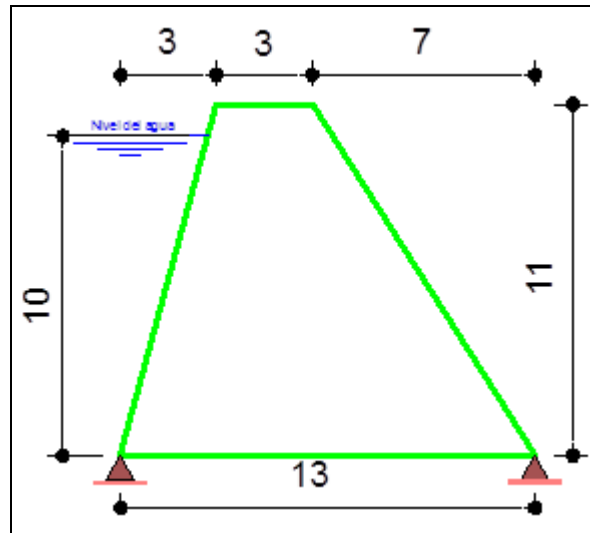


Figura 2 Dimensiones de la Presa en metros.

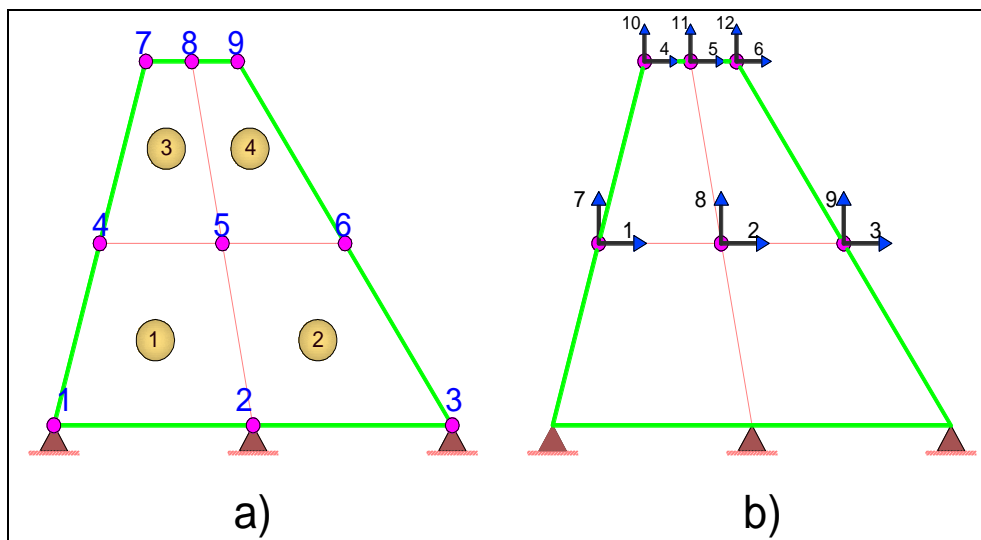


Figura 3 a) Elementos de la malla y nodos. b) Grados de libertad.

2. ARCHIVO FLAVIA.MSH

Contiene los datos para generar la geometría de la malla, para lo cual requiere que se indiquen las coordenadas de cada nodo (**coordenadas**) y la conectividad de cada elemento finito (**conectividad**). En paréntesis se ha indicado el nombre de los programas de la librería **CEINCI-LAB** que se explican a continuación.

➤ Uso de Programa **coordenadas**

Este programa encuentra las coordenadas de los nodos de la malla de elementos finitos. Para la estructura de la figura 2, con la numeración de los nodos de la figura 3a. Estas coordenadas son las indicadas en la tabla 1. La forma de uso del programa es:

[coord]=coordenadas(altura,divx,divy,alfa,beta,base)

Donde **altura** es la altura de la Presa; **divx** es el número de divisiones en sentido X; **divy** es el número de divisiones en sentido Y que se consideran para generar la malla; **alfa** es la relación de la longitud aguas arriba de la Presa con la altura; **beta** es la relación de la longitud

aguas abajo de la Presa, con la altura; **base** es la dimensión inferior de la Presa. El programa en la variable **coord** reporta las coordenadas en sentido X, Y de los nodos de la Presa. Para la Presa analizada se tiene: **[coord]=coordenadas(11,2,2,3/11,7/11,13)**

Tabla 1 Coordenadas de los nodos.

Nodo	X	Y
1	0	0
2	6.5	0
3	13	0
4	1.5	5.5
5	5.5	5.5
6	9.5	5.5
7	3	11
8	4.5	11
9	6	11

```
function [coord]=coordenadas(altura,divx,divy,alfa,beta,base)
longy=altura/divy;
for i=0 : divy
    Bases(i+1)=(base-(altura/divy)*i*alfa-(altura/divy)*i*beta);
    xvec(i+1)=(altura/divy)*i*alfa;
end
for i=1:divy+1
    xvecm(i)=xvec(i)+Bases(i)/2;
    xvecd(i)=xvecm(i)+Bases(i)/2;
end
    for i=1:divy+1
        for j=1:divx+1
            aux=1;
            cx1(i,j)=xvec(aux*i)+(Bases(aux*i)/divx)*(j-1);
            aux=aux+1;
        end
    end
    for i=1:divy+1
        for j=1:divx+1
            cy1(i,j)=longy*(i-1);
        end
    end
    aux=1;
    for i=1:divy+1
        for j=1:divx+1
            cx(aux)=cx1(i,j);
            cy(aux)=cy1(i,j);
            aux=aux+1;
        end
    end
    coord=[cx(:,:);cy(:,:)]';
% fin
```

➤ Uso de Programa *conectividad*

Este programa muestra la conectividad de cada elemento finito en forma antihoraria, empezando en el nodo inferior izquierdo. Se usó la programación de la subrutina NUDE de **CEINCI-LAB**, que para este estudio se la denominó **conectividad**. El programa genera la matriz denominada **CONEC** que contiene la conectividad de los nodos. En la tabla 2 se indica esta matriz y la forma de uso es la siguiente: **[conec]=conectividad(2,2)**

Tabla 2 Conectividad de los nodos.

Elemento finito	Nodo i	Nodo ii	Nodo iii	Nodo iv
1	1	2	5	4
2	2	3	6	5
3	4	5	8	7
4	5	6	9	8

```
function [conec]=conectividad(divx,divy)
    nefi=divx*divy;
    % NUDOS DE CADA ELEMENTO FINITO
    aux2=1;
    aux3=1;
    for i=1:divx
        NUDE(i,:)=[aux2, aux2+1, aux2+1+divx+1, aux2+1+divx];
        aux2=aux2+1;
    end
    for j=1:divy-1
        for i=(divx+1)*j:nefi
            NUDE(i,:)=NUDE(i-divx,:)+(divx+1);
        end
    end
    conec=NUDE;
    % fin
```

➤ Uso de Programa *GID_mesh*

Con las matrices que contiene a las: coordenadas (coord.) y la conectividad (conec) se usa el programa GID_MESH (Mroginski, 2010), el mismo que genera de manera automática el archivo flavia.msh. A continuación se lo presenta con unas modificaciones realizadas para el presente estudio:

```
function GID_mesh(problem,coord,conec,divx,divy)

whole_problem = [ problem '.flavia.msh'];
fid = fopen(whole_problem,'w');

npoin=(divy+1)*(divx+1); % Número de puntos o nodos de la malla
nelem=divy*divx; % Número de elementos finitos

    linea(1,:) = ' MESH dimension 2 ElemType Quadrilateral Nnode 4 ';
    linea(2,:) = ' Coordinates ';
    linea(3,:) = ' end coordinates ';
    linea(4,:) = ' Elements ';
    linea(5,:) = ' end elements ';

    %ESCRIBE ENCABEZADO:PRIM.LINEA
    fprintf(fid,'%s\n',linea(1,:));
    %COORDENADAS
```

```

fprintf(fid, '%s\n', linea(2,:));
coordenadas=[ (1:npoin)' coord];
fprintf(fid, '%5.0f %19.7f %19.7f\n', coordenadas');
fprintf(fid, '%s\n', linea(3,:));

%CONECTIVIDADES
fprintf(fid, '%s\n', linea(4,:));
conectiv=[ (1:nelem)' conec];
fprintf(fid, '%5.0f %5.0f %5.0f %5.0f %5.0f\n', conectiv');
fprintf(fid, '%s\n', linea(5,:));

fclose(fid);

return

```

La forma de uso del programa **GID_mesh** es la siguiente:

GID_mesh(problem,coord,conec,divx,divy)

Donde **problem** es el nombre del programa; **coord** es el nombre de la matriz que contiene a las coordenadas en sentido X, Y; **conec** es el nombre de la matriz con la conectividad de los elementos finitos; **divx** es el número de divisiones en sentido X; **divy** es el número de divisiones en sentido Y. Para este ejemplo a la Presa en estudio se la ha denominado '**presa_hormigón**'. Por lo tanto, **presa_hormigon.flavia.msh** es el archivo que se generará el mismo que contiene la siguiente información:

```

MESH dimension 2 ElemType Quadrilateral Nnode 4
Coordinates
1          0.0000000          0.0000000
2          6.5000000          0.0000000
3         13.0000000          0.0000000
4          1.5000000          5.5000000
5          5.5000000          5.5000000
6          9.5000000          5.5000000
7          3.0000000         11.0000000
8          4.5000000         11.0000000
9          6.0000000         11.0000000
end coordinates
Elements
1      1      2      5      4
2      2      3      6      5
3      4      5      8      7
4      5      6      9      8
end elements

```

3. ARCHIVO FLAVIA.RES

Este archivo contiene los resultados obtenidos con **CEINCI-LAB**. Pero para ser visualizados de la forma deseada se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos.

- El GID muestra los resultados por nodo. Por lo tanto se debe ubicar los grados de libertad en el nodo respectivo. (Ver tabla 4).
- Los nodos restringidos (1, 2 y 3) se deben rellenar con cero como se hizo en la tabla 4.

Debido a estas consideraciones de deben modificar, muy brevemente los resultados que se obtienen con los programas de **CEINCI-LAB** para adaptarlos al programa **GID_result** para que este acorde con los valores de la tabla 4.

Para el ejemplo, las propiedades del hormigón de la estructura analizada son las siguientes: Módulo de Elasticidad 2100000 T/m^2 ; coeficiente de Poisson $\nu = 0.2$. El sismo de análisis es el espectro de diseño inelástico hallado para la Presa: Minas-La Unión- Pitahuiña, para el sismo MCE (Máximo Sismo Creíble, por sus siglas en inglés) que tiene un período de retorno de 970 años. Aguiar (2010).

Como se indicó anteriormente, se aplicó el Método de superposición modal aplicando el criterio de combinación modal de la Normativa Sísmica de Perú 2003 y se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 3.

Tabla 3 Desplazamientos inelásticos y Fuerzas sísmicas

GDL	qine [m]	Ft [T]
1	1.15E-04	17.088
2	1.09E-04	33.869
3	1.08E-04	14.666
4	3.43E-04	19.074
5	3.42E-04	37.874
6	3.22E-04	17.403

En la tabla 3; **qine** es el vector de desplazamientos inelásticos hallados a partir de los desplazamientos elásticos multiplicados por el factor de reducción de respuesta de las fuerzas sísmicas R . Para este ejemplo se trabaja con $R = 1$ pero para el siguiente ejemplo que corresponde a la Presa La Esperanza se trabaja con $R = 2$. La otra variable de la tabla 3 es **Ft** que contiene a las fuerzas máximas probables debido a sismo.

Como se observa, CEINCI-LAB da los resultados en cada grado de libertad. Para poder graficar en el GID estos valores es necesario reordenarlos tomando como referencia el nodo, como se ilustra en la tabla 4.

Tabla 4 Desplazamientos y Fuerzas para el GID

Nodo	qine_gid [m]	Ft_gid [T]
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	1.15E-04	17.088
5	1.09E-04	33.869
6	1.08E-04	14.666
7	3.43E-04	19.074
8	3.42E-04	37.874
9	3.22E-04	17.403

Es importante destacar que los desplazamientos en los nodos 1, 2 y 3; efectivamente son cero debido al modelo indicado en las figuras 2 y 3 (Apoyo Fijo). **Pero las fuerzas en los nodos 1, 2 y 3, no son cero ya que son las reacciones horizontales que se generan en el apoyo.** Pero el objetivo del artículo está orientado al uso gráfico del GID por este motivo se pasa por alto esta consideración.

Los programas de **CEINCI-LAB** generan los archivos **qine** y **Ft**. Pero estos archivos no tienen el valor en todos los nodos (falta de los nodos restringidos). Por este motivo se debe

crear unos nuevos archivos con la terminación “_gid”. Se puede colocar cualquier otra terminación en el nombre. Con esta acotación y para estar en concordancia con lo indicado en la tabla 4 se debe proceder de la siguiente manera:

```
% Desplazamientos modales inelásticos
qine_gid=[zeros (divx+1,1);qine];

% Fuerzas Sísmicas
Ft_gid=[zeros (divx+1,1);Ft];
```

Siguiendo con el análisis, se hallaron las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas, a las que se añaden las fuerzas sísmicas y el peso propio, encontrando un vector de cargas totales. Con este vector de cargas se calcula los desplazamientos totales que se muestran en la tabla 5. Las fuerzas hidrodinámicas se encontró utilizando el modelo de Housner (1978) descrito en Chwang y Housner (1978).

Tabla 5 Desplazamientos totales

GDL	q [m]
1	1.67E-04
2	1.59E-04
3	1.52E-04
4	3.97E-04
5	3.99E-04
6	3.85E-04
7	4.09E-05
8	-6.74E-05
9	-1.08E-04
10	1.13E-05
11	-6.70E-05
12	-1.32E-04

El vector **q** contiene los desplazamientos horizontales y verticales en los nodos de la Presa, pero para poder graficar hay que separar cuales son los desplazamientos en sentido X y cuales son los desplazamientos en sentido Y. Pero a más de ello se debe colocar ceros en los nodos restringidos esto se lo hace de la siguiente manera.

```
% Desplazamientos totales
q_gid=[q(1:na,1),q(na+1:ngl,1)];
q_gid=[zeros (divx+1,2);q_gid];
% na=grados de libertad principales, en este caso son 6
```

Con ello se obtuvo los resultados de la tabla 6. Puede verse la figura 3 para apreciar los nodos y los grados de libertad del sistema.

Nótese que los desplazamientos son colocados en una misma variable, en la columna 1 los desplazamientos en X y en la columna 2 los desplazamientos en Y.

Este mismo proceso se realiza para las fuerzas hidrostáticas, hidrodinámicas y cualquier resultado que desee graficarse.

Tabla 6 Desplazamientos totales para el GID.

Nodo	q_gid [m]	
	X	Y
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	1.67E-04	4.09E-05
5	1.59E-04	-6.74E-05
6	1.52E-04	-1.08E-04
7	3.97E-04	1.13E-05
8	3.99E-04	-6.70E-05
9	3.85E-04	-1.32E-04

➤ Uso de Programa *GID_result*

El programa ***GID_result*** (Mroginski, 2010), es el encargado de generar automáticamente el archivo *flavia.res* el mismo que contiene todos los resultados que se desean graficar. Para lo cual llama a todas las nuevas variables (*qine_gid*, *Ft_gid*, *q_gid*,...). A continuación se presenta dicho programa el cual ha sido adecuado para el presente estudio:

```
function
GID_result(problem,q_gid,Q_gid,FH_gid,FHI_gid,Ft_gid,qine_gid,Peso_gid,divx,div
y)

whole_problem = [ problem  '.flavia.res'];

fid = fopen(whole_problem,'w');

%-----
npoin=(divy+1)*(divx+1);
%-----

linea(1,:) = ['DESPLAZAMIENTOS          1          1          2          1          0'];
linea(2,:) = ['VECTOR_CARGAS           1          1          2          1          0'];
linea(3,:) = ['HIDRODINÁMICAS          1          1          2          1          0'];
linea(4,:) = ['HIDROSTATICAS           1          1          2          1          0'];
linea(5,:) = ['FUERZA_SISMICAS          1          1          1          1          0'];
linea(6,:) = ['DESP_INELASTICO          1          1          1          1          0'];
linea(7,:) = ['PESO_PROPIO              1          1          1          1          0'];

% La Tercera columna indica el número de columnas del archivo
%DESPLAZAMIENTOS TOTALES
fprintf(fid,'%s\n',linea(1,:));
desptotal=[ (1:npoin)' q_gid];
fprintf(fid,'%5.0f %23.15f %23.15f\n',desptotal');
%-----
%VECTOR CARGAS
fprintf(fid,'%s\n',linea(2,:));
fuerzas=[ (1:npoin)' Q_gid];
fprintf(fid,'%5.0f %23.15f %23.15f\n',fuerzas');
%-----
%FUERZAS HIDRODINÁMICAS
fprintf(fid,'%s\n',linea(3,:));
dinamica=[ (1:npoin)' FH_gid];
fprintf(fid,'%5.0f %23.15f %23.15f\n',dinamica');
%-----
%FUERZAS HIDROSTATICAS
fprintf(fid,'%s\n',linea(4,:));
estatica=[ (1:npoin)' FHI_gid];
fprintf(fid,'%5.0f %23.15f %23.15f\n',estatica');
```

```

%-----
%FUERZAS SISMICAS
fprintf(fid, '%s\n', linea(5, :));
sismica= [ (1:npoin)' Ft_gid];
fprintf(fid, '%5.0f %23.15f\n', sismica');
%-----
%DESPLAZAMIENTOS MODALES INELÁSTICOS
fprintf(fid, '%s\n', linea(6, :));
despine= [ (1:npoin)' qine_gid];
fprintf(fid, '%5.0f %23.15f\n', despine');
%-----
%PESO_PROPIO
fprintf(fid, '%s\n', linea(7, :));
peso= [ (1:npoin)' PESO];
fprintf(fid, '%5.0f %23.15f\n', peso');
%-----
fclose(fid);
return

```

Como puede darse cuenta el programa llama a nuevas variables, que son las siguientes:

- ✓ q_gid = Desplazamientos totales.
- ✓ Q_gid = Vector de Cargas Totales.
- ✓ FH_gid = Fuerzas Hidrodinámicas.
- ✓ FHI_gid = Fuerzas Hidrostáticas.
- ✓ Ft_gid = Fuerzas Sísmicas.
- ✓ qine_gid = Desplazamientos inelásticos.
- ✓ Peso_gid = Peso propio.

Ahora se explica un aspecto importante del programa GID_result que hay que tomar en cuenta en dos partes del mismo:

• Primera parte.

linea(1,:) = ['DESPLAZAMIENTOS	1	1	2	1	0'];
linea(2,:) = ['VECTOR_CARGAS	1	1	2	1	0'];
linea(3,:) = ['HIDRODINÁMICAS	1	1	2	1	0'];
linea(4,:) = ['HIDROSTATICAS	1	1	2	1	0'];
linea(5,:) = ['FUERZA_SISMICAS	1	1	1	1	0'];
linea(6,:) = ['DESP_INELASTICO	1	1	1	1	0'];
linea(7,:) = ['PESO_PROPIO	1	1	1	1	0'];

Puede observarse que existen 5 números a la derecha en cada línea, el tercer término en unos casos vale 1 y en otros vale 2. La razón es porque cuando una variable tiene una columna (resultados solo en X) hay que ubicar 1, y cuando posee dos columnas (resultados en X e Y) se coloca 2.

• Segunda parte.

```

%DESPLAZAMIENTOS TOTALES
fprintf(fid, '%s\n', linea(1, :));
desptotal= [ (1:npoin)' q_gid];
fprintf(fid, '%5.0f %23.15f %23.15f\n', desptotal');
%-----
%DESPLAZAMIENTOS MODALES INELÁSTICOS
fprintf(fid, '%s\n', linea(6, :));
despine= [ (1:npoin)' qine_gid];
fprintf(fid, '%5.0f %23.15f\n', despine');
%-----

```

Los dígitos resaltados en verde %5.0f son para mostrar los nodos de la malla. No tiene decimales. Las cifras resaltadas en amarillo indican el número de columnas que posee esa variable. En el caso de desplazamientos inelásticos, fuerzas sísmicas y peso propio se coloca %23.15f indicando que exista un campo de 23 columnas que contiene 15 decimales (formato) de resultados. Pero en el caso de desplazamientos totales, fuerzas hidrodinámicas, Hidrostáticas y Cargas totales se coloca %23.15f %23.15f indicando que contiene dos columnas de resultados. El archivo que se genera para este ejemplo es presa_hormigon.flavia.res:

DESPLAZAMIENTOS		1	1	2	1	0
1	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
2	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
3	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
4	0.000167370046953	0.000040906785858				
5	0.000159039820593	-0.000067431516141				
6	0.000152194758854	-0.000108408834078				
7	0.000396905995904	0.000011270915070				
8	0.000398572202643	-0.000067021911310				
9	0.000384654309953	-0.000131808241413				
VECTOR_CARGAS		1	1	2	1	0
1	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
2	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
3	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
4	57.041223579405852	-50.994521473037608				
5	53.845670931776596	-69.299999999999997				
6	14.666441152647547	-34.649999999999999				
7	19.073700322549364	-18.149999999999999				
8	37.873684126802459	-36.299999999999997				
9	17.403259809418127	-18.149999999999999				
HIDRODINAMICAS		1	1	2	1	0
1	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
2	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
3	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
4	13.369941378536376	-5.469521473037609				
5	6.684970689268188	0.0000000000000000				
6	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
7	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
8	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
9	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
HIDROSTATICAS		1	1	2	1	0
1	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
2	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
3	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
4	26.583333333333332	-10.874999999999998				
5	13.291666666666666	0.0000000000000000				
6	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
7	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
8	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
9	0.0000000000000000	0.0000000000000000				
FUERZA_SISMICAS		1	1	1	1	0
1	0.0000000000000000					
2	0.0000000000000000					
3	0.0000000000000000					
4	17.087948867536142					
5	33.869033575841740					
6	14.666441152647547					
7	19.073700322549364					
8	37.873684126802459					
9	17.403259809418127					
DESP_INELASTICO		1	1	1	1	0

1	0.0000000000000000					
2	0.0000000000000000					
3	0.0000000000000000					
4	0.000114913971891					
5	0.000108500381712					
6	0.000107787590213					
7	0.000342863423571					
8	0.000342251655241					
9	0.000322338015231					
PESO_PROPIO		1	1	1	1	0
1	0.0000000000000000					
2	0.0000000000000000					
3	0.0000000000000000					
4	-34.649999999999999					
5	-69.299999999999997					
6	-34.649999999999999					
7	-18.149999999999999					
8	-36.299999999999997					
9	-18.149999999999999					

4. GRÁFICOS OBTENIDOS CON EL GID

Una vez que se ejecuta el programa GID, se debe cambiar al Postproceso seleccionando el noveno icono que aparece con luz encendida, ver figura 4.

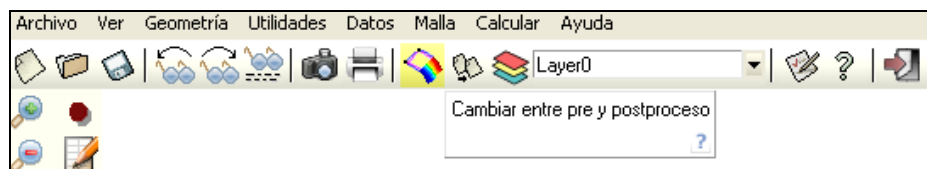


Figura 4 Selección del icono para que trabaje como postproceso

Luego se abre la carpeta (con el segundo icono) en la cual se tienen los programas (se busca con la flecha indicadora del cuadro inferior), en este caso se encuentran en la carpeta denominada Presa hormigón GID (se selecciona esta carpeta) y se tiene lo mostrado en la figura 5.

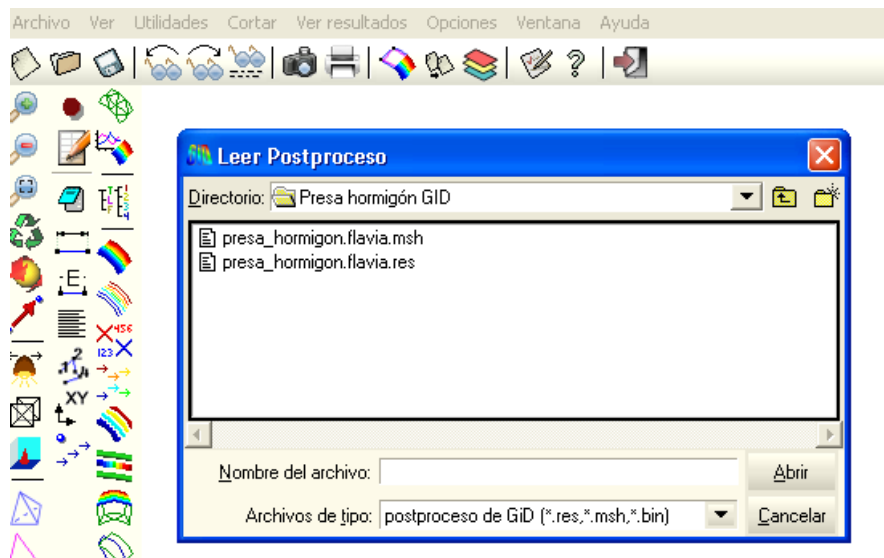


Figura 5 Selección de la carpeta con archivos Flavia.

Ahora se selecciona cualquiera de los dos archivos y al seleccionar el icono de ver resultados se tiene lo indicado a continuación y el lector puede empezar a mostrar lo que desea ver. En la figura 6 se indica como aparece actualmente la pantalla del GID.

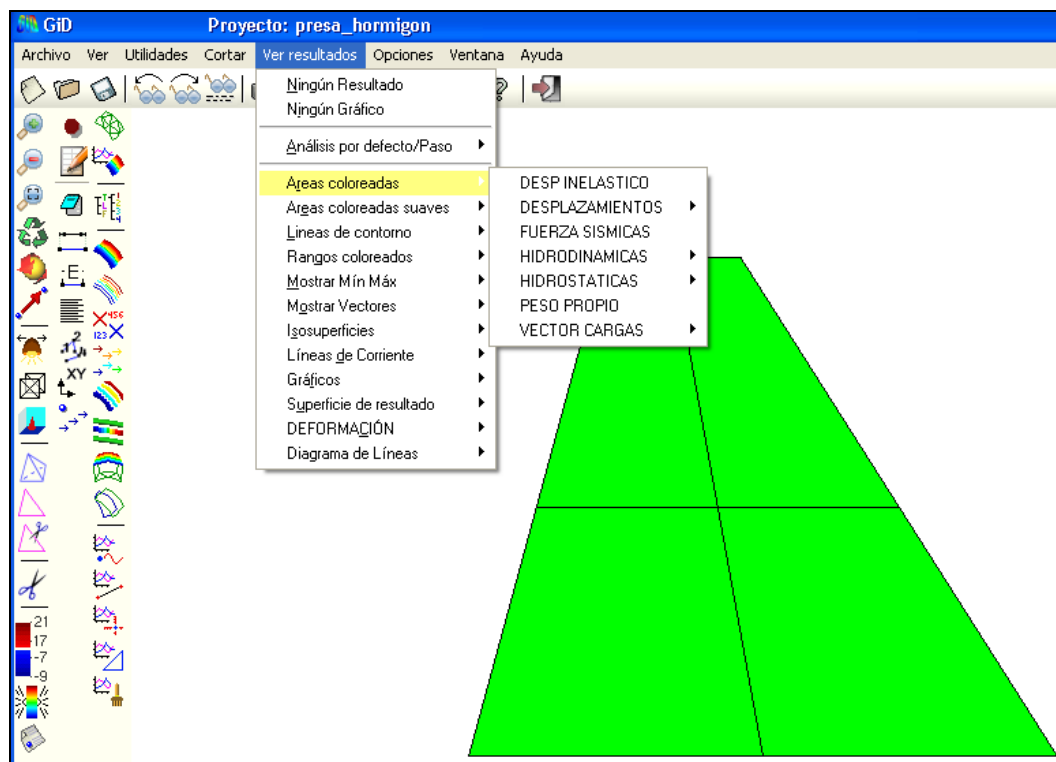


Figura 6 Despliegue de archivos creados que se desean visualizar.

Se deja al lector que vea los siguientes resultados, si tiene dificultad puede remitirse al artículo de Aguiar *et al.* (2010) donde se indica la forma de usar el GID como post proceso. Con estas indicaciones en la figura 7 se muestra la numeración de los nodos y elementos de la malla de elementos finitos.

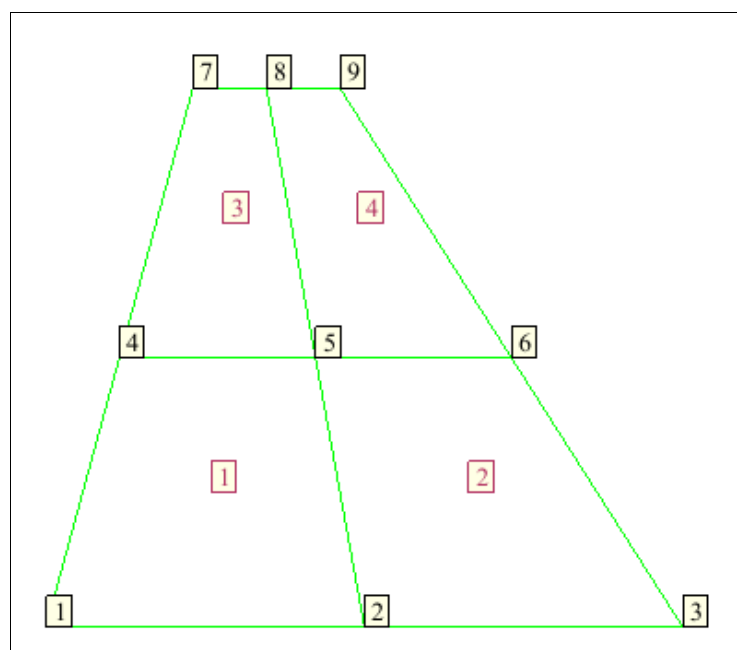


Figura 7 Malla de elementos finitos.

En la figura 8 se muestran los desplazamientos laterales ante la acción sísmica considerando $R=1$ es decir se tratan de desplazamientos elásticos pero como se puede trabajar con un valor de $R \neq 1$ se indica que son desplazamientos inelásticos.

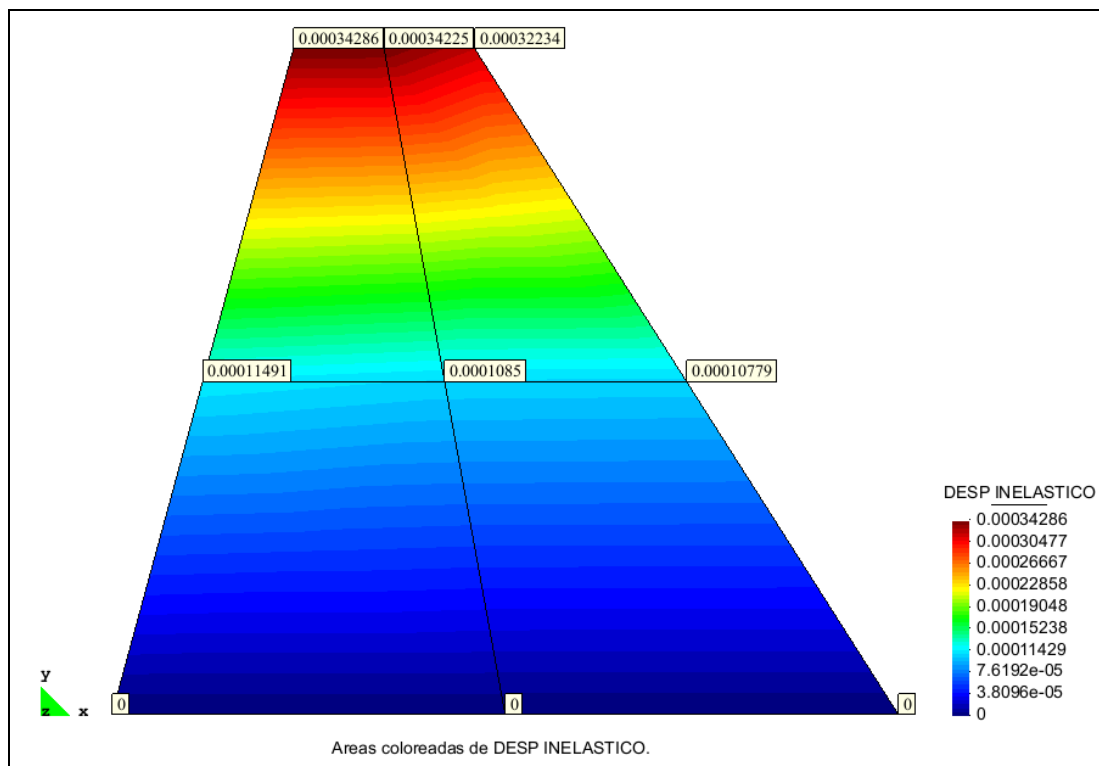


Figura 8 Desplazamientos inelásticos, hallados con $R=1$ estrictamente son desplazamientos elásticos.

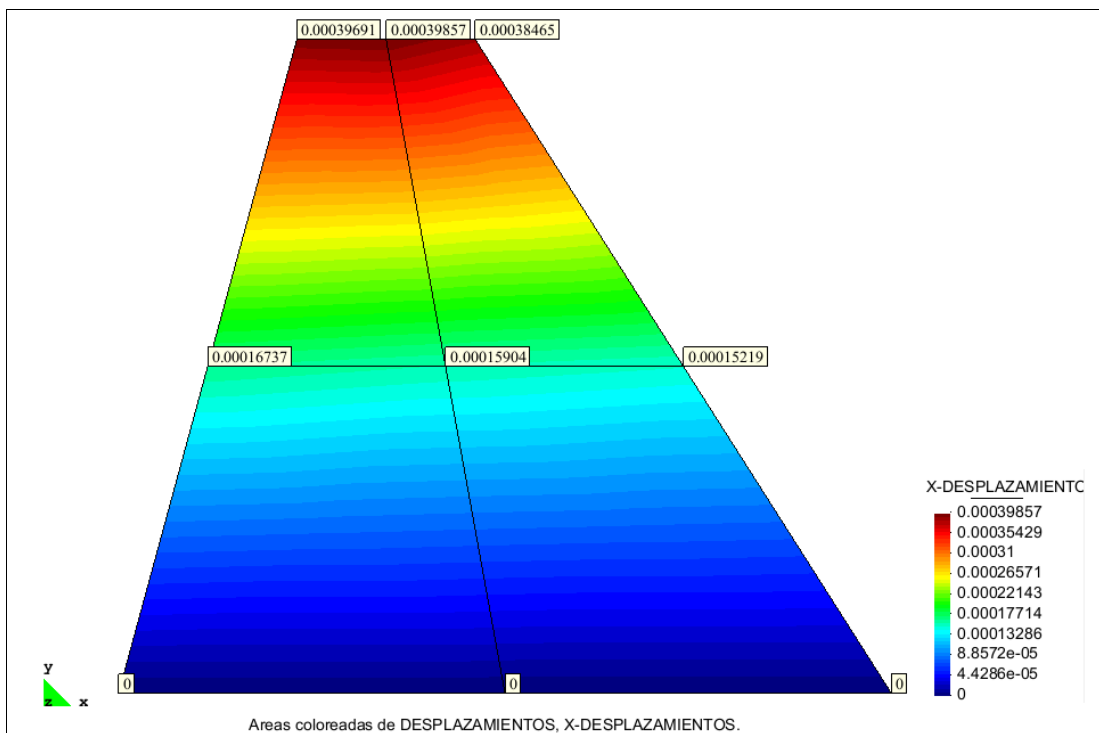


Figura 9 Desplazamientos totales en X, considerando sismo, presiones y peso propio.

En la figura 9 se presentan los desplazamientos horizontales considerando: acción sísmica, presión hidrostática, presión hidrodinámica y peso propio.

En la figura 10 se indica las fuerzas estáticas equivalentes, halladas en cada uno de los nodos por efecto de la acción sísmica.

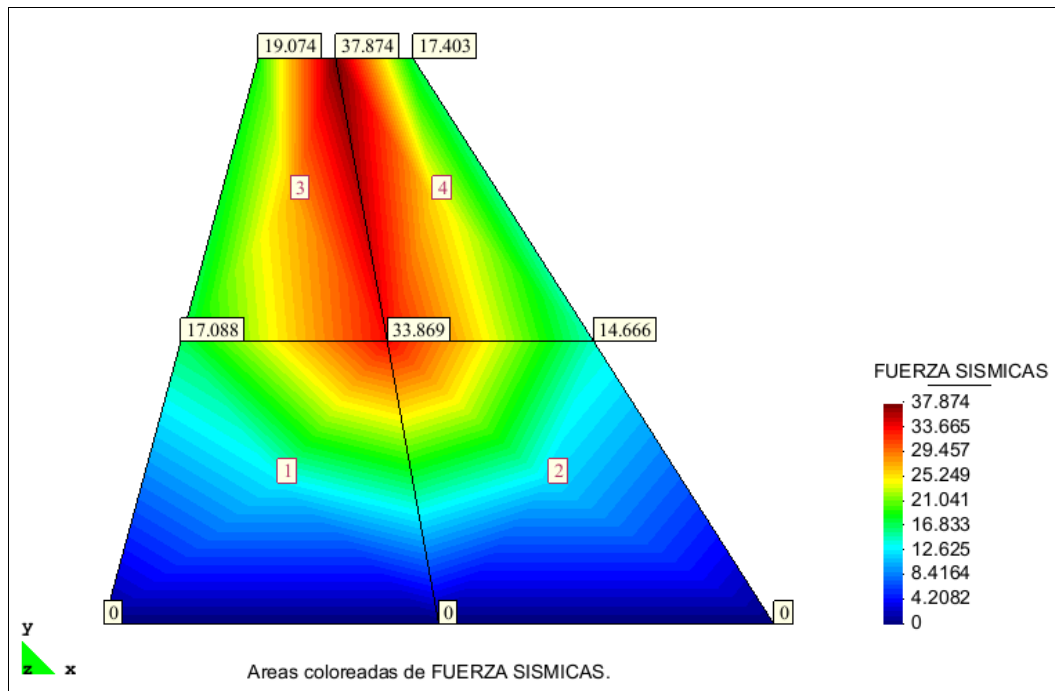


Figura 10 Fuerzas sísmicas.

5. APLICACIÓN A LA PRESA LA ESPERANZA

En Aguiar et al (2010), se realizó el análisis estático de una columna de suelo confinado de La Presa La Esperanza, luego ahí se puede complementar la información que se indica en este artículo. En la figura 11 se muestra la sección transversal con sus diferentes materiales.

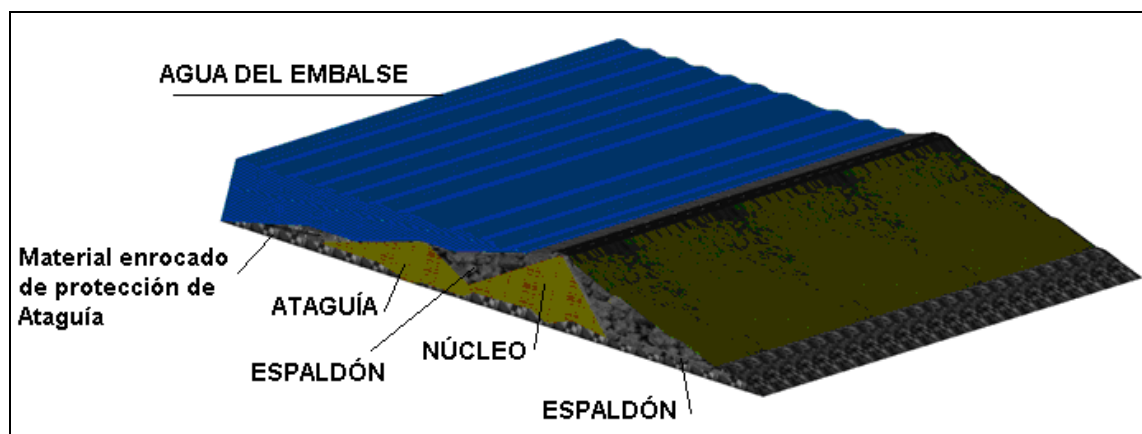


Figura 11 Sección transversal y materiales.

La Ataguía fue la primera obra que construyeron para desviar las aguas del río Carrizal, fue construida con una arena arcillosa compactada al 100%. Para proteger la Ataguía se colocó material enrocado delante de ella, como se aprecia a la izquierda de la figura 11, son bolones de rocas con un tamaño máximo de 60 cm., Luego se construyó el Núcleo con el mismo

material de la Ataguía y finalmente el espaldón que es una grava arenosa. En la figura 2 y en la tabla 1 de Aguiar *et al.* (2010) se presenta con detalle los materiales de la Presa.

5.1 Modelo Utilizado

Para realizar el análisis sísmico se generó una sección equivalente que represente la estructura real de la presa. El objetivo de realizar este proceso es obtener una geometría más sencilla para efectuar dicho análisis, ya que la estructura real posee distintos taludes y bermas que dificultarían el cálculo.

En la figuras 12 se presenta la geometría real de la Presa y en la figura 13 el modelo equivalente utilizado para el análisis sísmico.

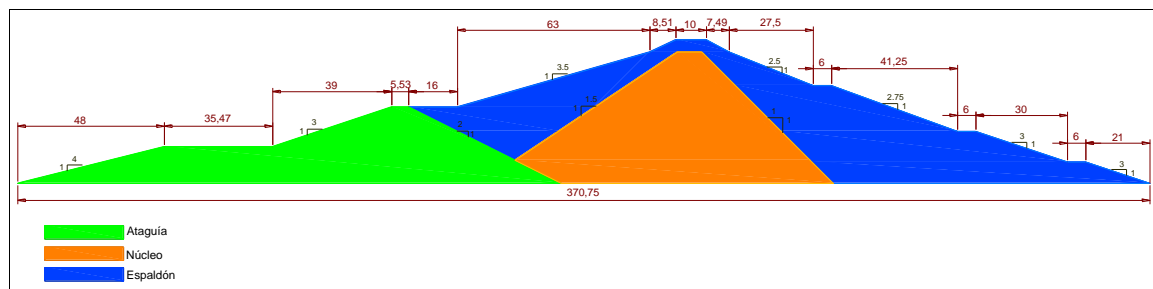


Figura 12 Sección real de la Presa La Esperanza.

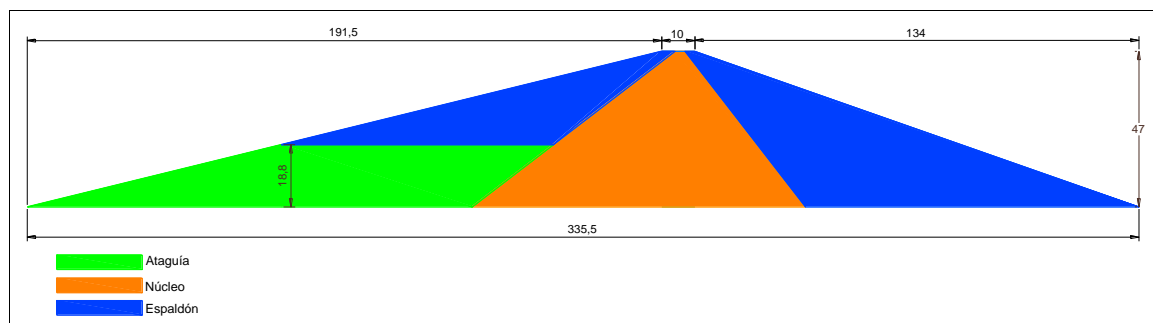


Figura 13 Sección equivalente utilizada en el estudio.

5.2 Estudio de Suelos

Se realizaron varios ensayos de suelos, para encontrar las propiedades de los materiales que conforman la Presa, uno de ellos fue el que se presenta en la figura 14, en que se observa una muestra de arena arcillosa sometida a un ensayo de compresión para determinar el módulo de elasticidad del suelo.

En la parte superior izquierda se muestra al material siendo compactado con el Proctor, la muestra se dividió en tres capas y en cada una de ellas se compactó con 25 golpes; la humedad natural de la muestra fue de 40%, razón por la cual se dejó secar hasta que tenga una humedad del 27% que es la que debe tener el núcleo de la Presa.

En la parte superior derecha se muestra el momento en que se pesaba la muestra para obtener el peso específico, de paso se observa el material antes de ser ensayado. En la parte inferior izquierda se ve la muestra durante el ensayo a compresión; nótese que se adaptó un deformímetro para encontrar la deformación vertical y en la parte inferior derecha se aprecia la muestra de material ya colapsado, el criterio de colapso se estableció cuando sin un aumento de carga la muestra se deforma apreciablemente.



Figura 14 Ensayos realizados a una muestra de arena arcillosa.

En el estudio se vio que el módulo de elasticidad de la arena arcillosa se ajusta a la siguiente ecuación.

$$E_s = 47 f'_s \quad (1)$$

Donde f'_s es la resistencia a la compresión de la arena arcillosa en kg/cm^2 ; E_s es el módulo de elasticidad del suelo o módulo de Young en kg/cm^2 . También se obtuvo el peso específico y el coeficiente del Poisson del material que conforma el Núcleo y Espaldón de la Presa, estos resultados se indican en la tabla 7.

Tabla 7 Propiedades de los materiales

Material	Peso específico [T/m ³]	Módulo de Young [T/m ²]	Coeficiente de poisson
Núcleo	1.90	3000	0.48
Espaldón	1.90	24440	0.36

El material de la ataguía no se lo muestra en la tabla anterior porque tiene las mismas características que el núcleo.

5.3 Malla de elementos finitos

Para obtener la malla de elementos finitos se trabajó con 10 divisiones en X e Y. En la figura 15 y 16 se muestran los elementos finitos y nodos de la malla respectivamente.

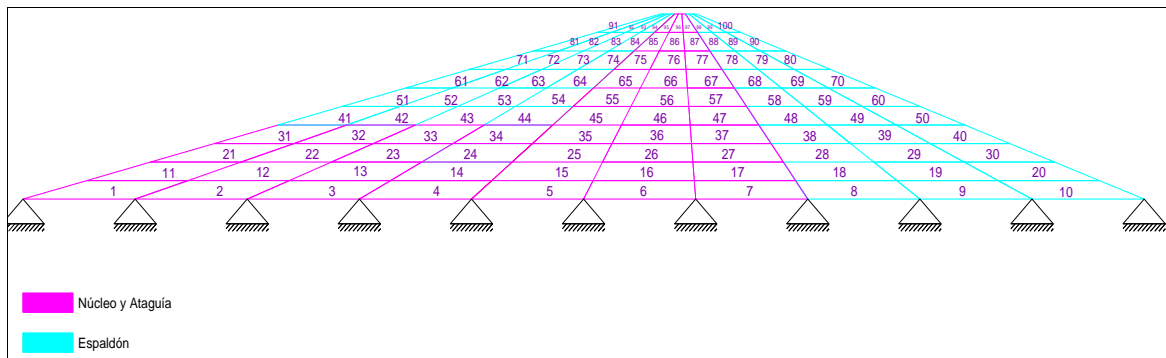


Figura 15 Numeración de los elementos Finitos.

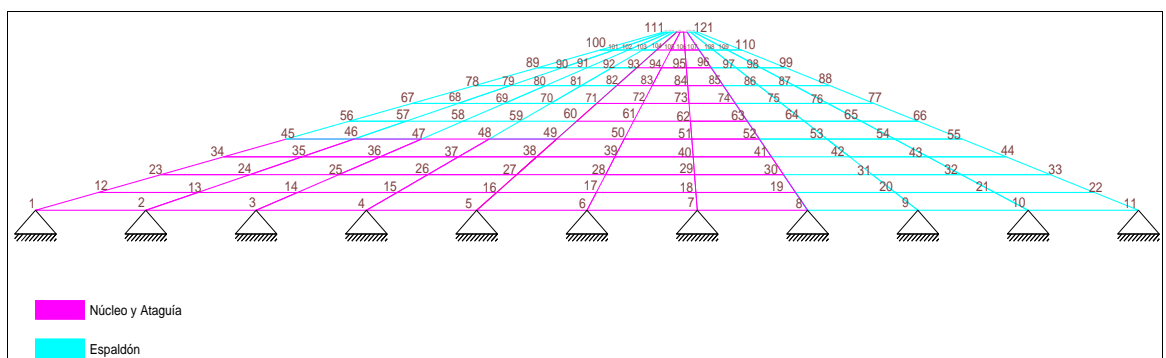


Figura 16 Numeración de los nodos.

La estructura en análisis posee 110 grados de libertad en la dirección X y 110 en la dirección Y. En la figura 17 se presenta la numeración de los grados de libertad principales, para el análisis sísmico ante la componente horizontal del suelo.

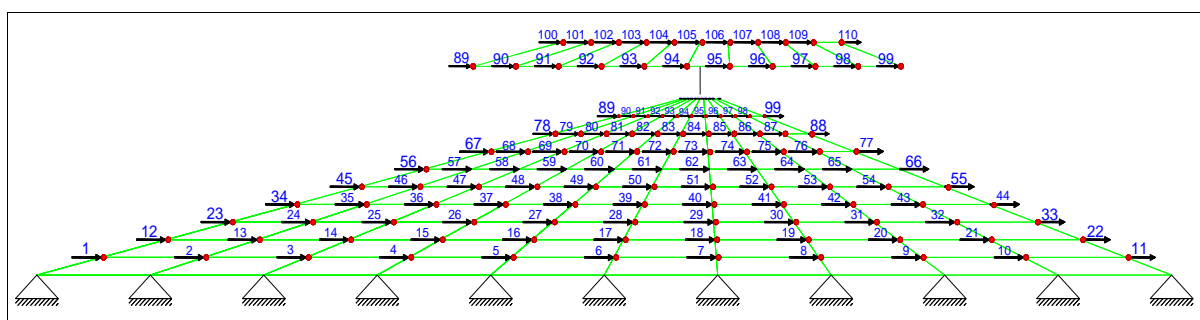


Figura 17 Grados de libertad principales.

Se utilizó el espectro inelástico hallado para la Presa Minas-La Unión-Pitahuña, considerando un valor de $R = 2$.

El objetivo del artículo es ilustrar la forma como se trabaja el programa GID como postprocesador a partir de resultados obtenidos con **CEINCI-LAB**. Por esta razón no tiene mayor relevancia presentar el espectro inelástico de la Presa Minas-La Unión-Pitahuña como tampoco lo tiene discutir el valor de reducción de las fuerzas sísmicas adoptado pero vale la pena indicar que un valor de $R = 2$ para una Presa de Tierra es alto.

5.4 Resultados del análisis sísmico

En las figuras 18 y 19 se presentan los desplazamientos y fuerzas estáticas equivalentes, obtenidas en los nodos, del análisis sísmico.

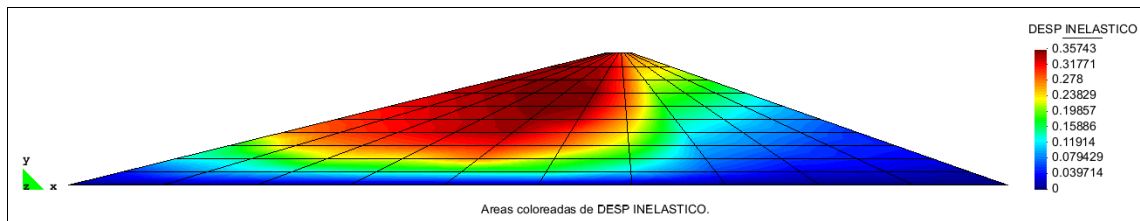


Figura 18 Desplazamientos modales inelásticos, en sentido horizontal.

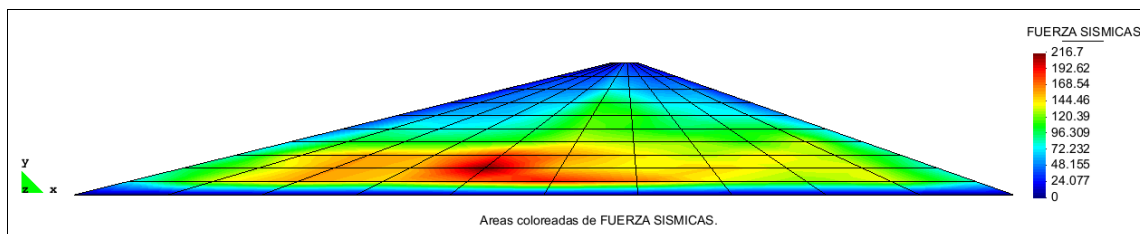


Figura 19 Fuerzas sísmicas en sentido horizontal.

5.5 Fuerzas Hidrostáticas

Para las fuerzas hidrostáticas se utilizó la subrutina **FUHIESTATICAS**, la cual calcula una fuerza resultante perpendicular al plano inclinado en cada nodo de la cara aguas arriba. Luego saca las componentes horizontal y vertical. En la figura 20 se muestran los resultados en los que se han etiquetado los primeros valores correspondientes a la primera fila.

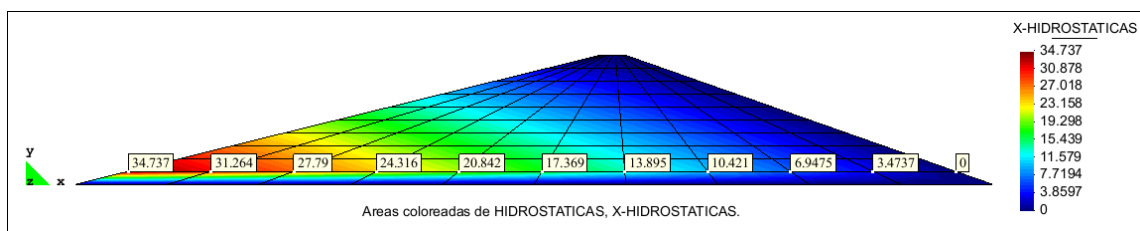


Figura 20 Fuerzas Hidrostáticas en el sentido X.

Estrictamente las fuerzas hidrostáticas se obtienen a nivel de la cara de la Presa pero el Programa **FUHIESTATICAS** reparte estas fuerzas en todos los nodos, considerando una variación lineal de atenuación de las fuerzas a lo largo de la Presa, es así como en el borde extremo las fuerzas hidrostáticas son cero.

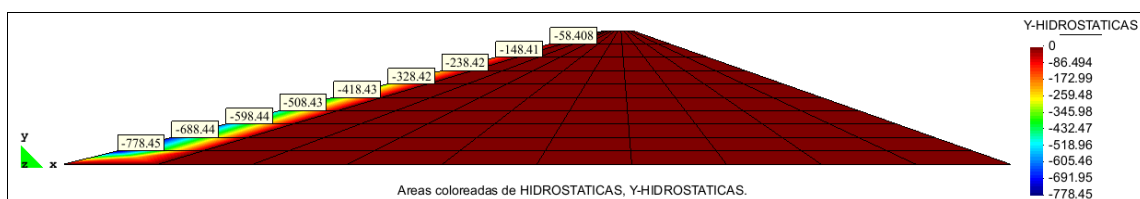


Figura 21 Fuerzas Hidrostáticas en el sentido Y.

En la figura 21 se presentan las fuerzas hidrostáticas en sentido Y, actuando únicamente en el borde de la Presa mientras que las fuerzas en el sentido X se distribuyeron en los demás nodos.

Fuerzas Hidrodinámicas

Las fuerzas hidrodinámicas fueron encontradas con el método de Housner. El método encuentra la presión hidrodinámica y las fuerzas horizontal y vertical en el borde de la cara en contacto con el agua. Para las fuerzas horizontales estas fuerzas se han distribuido en forma lineal a lo largo de la Presa, en forma similar a lo realizado con las Fuerzas Hidrostáticas. Los resultados se muestran en las figuras 22 y 23.

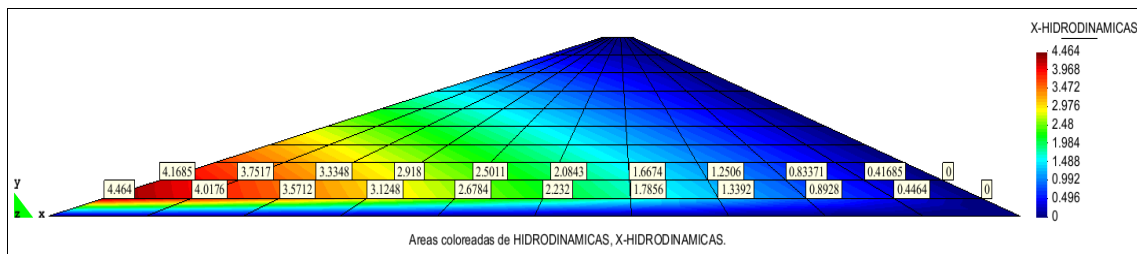


Figura 22 Fuerzas Hidrodinámicas en el sentido X.

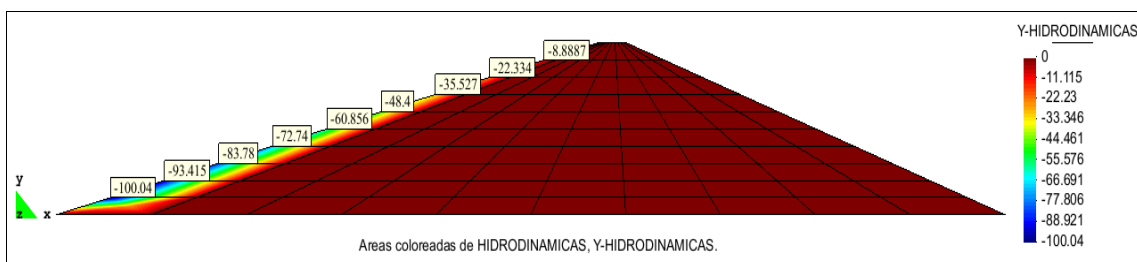


Figura 23 Fuerzas Hidrodinámicas en el sentido Y.

Fuerzas Totales

Las fuerzas que intervienen en el sentido X son: las fuerzas sísmicas, las hidrostáticas e Hidrodinámicas en X. En el sentido Y intervienen el peso propio, las fuerzas hidrostáticas y las fuerzas hidrodinámicas en esa dirección. Estas fuerzas a nivel de nodos, son las que se presentan en las figuras 24 y 25 para el sentido X, Y, respectivamente.

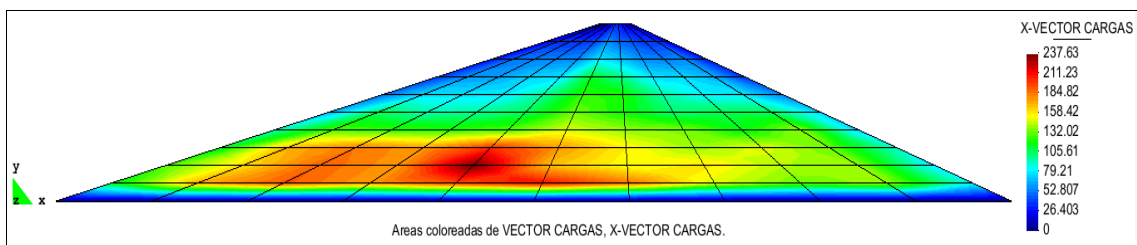


Figura 24 Fuerzas en sentido X., en los nodos.

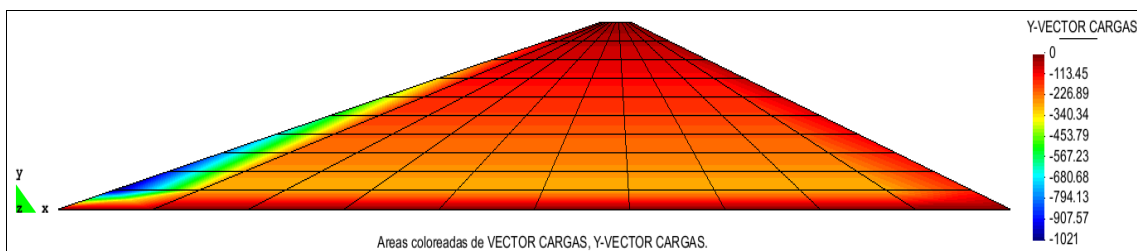


Figura 25 Fuerzas en sentido Y, en los nodos.

Desplazamientos Totales

Con las fuerzas totales actuando en sentido X, Y, se hallan los desplazamientos totales a nivel de los nodos, previamente se encontró la matriz de rigidez asociada a todos los grados de libertad y se resolvió un sistema de ecuaciones lineales. Los resultados se muestran en las figuras 26 y 27, para el sentido X, Y, respectivamente.

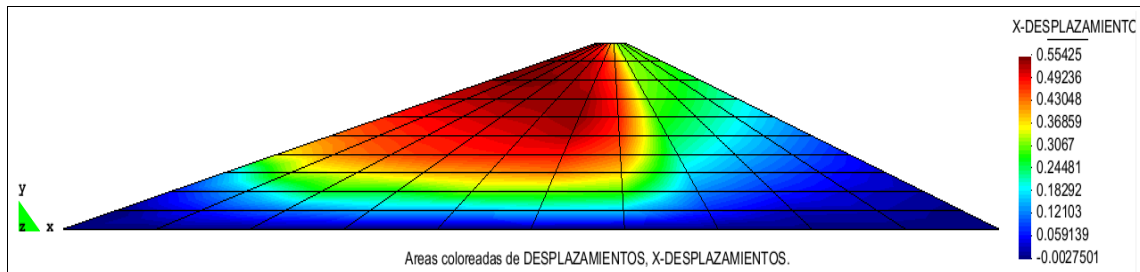


Figura 26 Desplazamientos totales en sentido X.

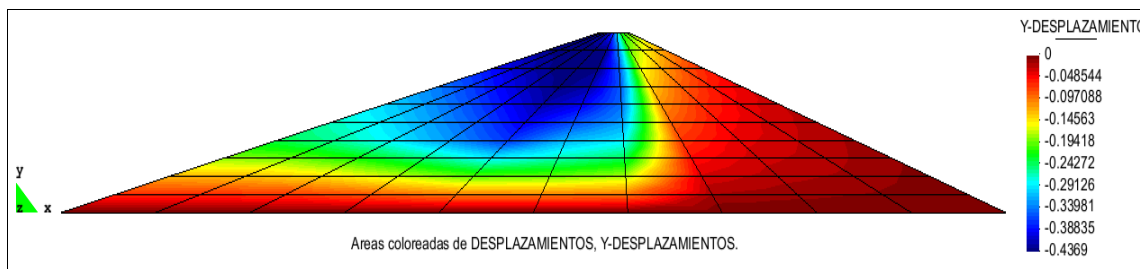


Figura 27 Desplazamientos totales en sentido Y.

6. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Si bien es cierto, el objetivo de este artículo era el mostrar como se utiliza el programa GID, en la etapa de post proceso, a partir de resultados obtenidos con los programas del sistema de computación **CEINCI-LAB**, no es menos cierto que lo expuesto tiene el carácter general por lo que se debe proceder en forma similar con los resultados de otros programas.

Se aspira que con los programas y explicación presentada en este artículo el lector se encuentre en capacidad de presentar resultados elegantes, vistosos y claros, de problemas resueltos con elementos finitos, utilizando el programa GID como postprocesador.

REFERENCIAS

1. Aguiar R., Mroginski J., Zambrano A., Carrillo J., Freire A., Flores E., Ortiz M., (2010), "Análisis estático de una columna de suelo confinado con dos modelos de elementos finitos y uso de programa GID", *Revista CIENCIA. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército*, **13 (2)**, 187-212, Quito.
2. Aguiar R., (2010), "Estudio de Peligrosidad sísmica y espectro de diseño de la Presa: Minas-La Unión-Pitahuiña", ASTEC, 32 p., Quito.
3. Aguiar R., (2008), *Análisis Sísmico de Edificios*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 322 p., Quito.

4. Aguiar R., (2007), *Dinámica de Estructuras con MATLAB*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Quito.
5. Aguiar R., (2004), *Análisis Matricial de Estructuras*, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, Tercera Edición, 550 p., Quito.
6. Chwang A., and Housner G., (1978), "Hydrodynamic pressures on sloping dams Turing earthquakes. Part 1. Momentum method", *Journal Fluid. Mechanics*, **87 (2)**, 335-341, Gret Britain.
7. Mroginski J., (2010), *Minicurso sobre Elementos Finitos en Suelos Saturados*, V Congreso de Ciencia y Tecnología. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
8. norma E.030, (2003), *Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificaciones. Diseño Sismo Resistente*. Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción. SENCICO, 36 p., Lima.
9. Oñate E., (1992), "Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis Estático Lineal", *Centro Internacional de Métodos Numéricos, Universidad Politécnica de Cataluña*, Primera Edición, 838 p., Barcelona, España.
10. Zangar C. N., (1952), "Hydrodynamic pressures on dams due to horizontal earthquake", *Engineering Monographs* **11**, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Colorado.